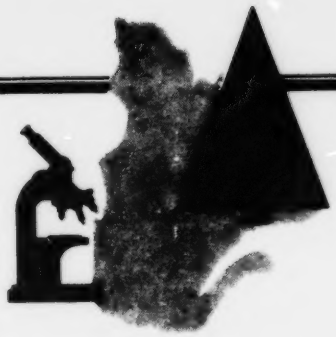
Québec



NOTE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 27, 1985

RÉSULTATS QUINQUENNAUX D'UNE FERTILISATION DANS DEUX PLANTATIONS DE PIN ROUGE DU CENTRE DU QUÉBEC

Gilles Sheedy*

O.D.C. 237.4(047.3)(714)
L.C. SD 401

RÉSUMÉ

Les résultats présentés dans ce rapport montrent que la fertilisation a eu des effets sur le feuillage (concentrations en N, P, K et Mg plus élevées et augmentations de la longueur et de la masse des aiguilles) et sur la croissance (hauteur, diamètre et volume) des arbres.

Ces résultats se sont traduits par des augmentations maximums en volume total par hectare de l'ordre de 46 p. 100 dans la plantation de Saint-Basile (traitement: 100-100-0) et de 22 p. 100 dans la plantation de Sainte-Sophie (traitements: 100-0-100 et 100-100-100).

Les meilleurs traitements de fertilisation comprennent des quantités de 100 kg/ha d'azote (sous forme d'urée ou de nitrate d'ammonium) avec ou sans l'addition de 50 à 100 kg/ha de P et de K.

Les performances de croissance de la plantation de Sainte-Sophie sont nettement plus faibles et plus variables que celles de la plantation de Saint-Basile. Ce résultat s'explique en partie par le fait que plusieurs tiges (jusqu'à 50 p. 100 pour certains traitements) de la plantation de Sainte-Sophie ont été endommagées par le verglas (bris de la pousse terminale).

L'incidence des dommages dans la plantation varie fortement selon les traitements. Ainsi, plus de 50 p. 100 des arbres fertilisés en azote seulement (50 à 150 kg/ha) présentent des dommages sur la pousse terminale, alors que seulement 14 p. 100 des arbres fertilisés en potassium avec ou sans N et P en présentent. Dans le cas du traitement témoin, 17 p. 100 des arbres ont été endommagés par le verglas.

* Ing.f., M.Sc., chargé de recherches en fertilité et reboisement.

87-00957/

SUMMARY

The results presented in this report show that fertilization had marked effects on the needles (higher concentrations of N, P, K and Mg, larger and heavier needles) and on the growth (height, diameter and volume) of the trees.

Five-year growth results show that maximum total volume increments of fertilized trees are superior to those of the non-fertilized by more than 46 p. 100 in the Saint-Basile plantation (treatment 100-100-0) and 22 p. 100 in the Sainte-Sophie plantation (treatments 100-0-100 and 100-100-100).

The bests fertilizer treatments include 100 kg/ha of nitrogen (either in the form of urea or ammonium nitrate) with or without the addition of 50 to 100 kg/ha of P and K.

The growth performance of the Sainte-Sophie plantation is clearly weaker and more variable than that of Saint-Basile. Many trees of this plantation were ice damaged. In some plots, more than 50 p. 100 of the trees had their terminal shoot broken. The damage incidence strongly varied with treatments; more than 50 p. 100 of N fertilized trees (50 to 150 kg/ha) presented damages on the terminal shoot while only 14 p. 100 of the trees fertilized with K (with or without N and P) presented those damages. In the control plot, 17 p. 100 of the trees were ice damaged.

INTRODUCTION

Le Service de la recherche du M.E.R. a entrepris en 1975, en collaboration avec plusieurs Unités de gestion, un programme de fertilisation des plantations. Ce projet a pour but de déterminer les quantités optimums d'éléments à appliquer sur une plantation d'un âge, d'une essence et d'une classe de fertilité donnés en vue de stimuler la croissance des arbres. Jusqu'à maintenant, plus de quarante dispositifs expérimentaux ont été établis dans des plantations de pin (pin gris et pin rouge), d'épinette (épinette blanche, épinette noire et épinette de Norvège) et de mélèze.

Ce rapport présente les résultats quinquennaux de croissance de deux dispositifs établis dans des plantations de pin rouge âgées respectivement de 10 et 17 ans.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

- Description des stations

Cette étude a été réalisée sur deux plantations de pin rouge établies sur des terres abandonnées. La première plantation est située près de Saint-Basile dans la circonscription électorale de Portneuf alors que l'autre est située près de Sainte-Sophie-de-Lévrard dans la circonscription électorale de Nicolet.

Ces deux plantations sont donc situées dans la section L-3 (Moyen Saint-Laurent) de Rowe (1972).

Selon les cartes de possibilités des terres pour la forêt (Environnement Canada, 1973 et 1977), ces plantations font partie des classes 2 et 3 (classe 2: terres comportant de faibles limitations (Sainte-Sophie). Classe 3: Terres comportant des limitations modérées pour la croissance de forêt commerciales). Les principaux facteurs limitants seraient le manque ou l'excès d'humidité et le faible niveau de fertilité.

Le tableau 1 présente quelques caractéristiques concernant ces plantations, leur localisation et les conditions de sol et de climat de ces régions.

- Dispositifs expérimentaux

Le dispositif expérimental établi dans la plantation de Saint-Basile est formé de 32 placettes, soit deux répétitions (blocs) de 16 placettes. Celui de Sainte-Sophie comprend trois répétitions de 25 placettes. Chaque placette mesure 10 m par 10 m (0,01 ha). Ce sont des dispositifs à blocs complets et le choix des traitements de fertilisation dans chacune des répétitions s'est fait complètement au hasard.

- Traitements de fertilisation

Les traitements de fertilisation qui ont été appliqués dans ces dispositifs sont présentés au tableau 2. Les engrais ont été appliqués manuellement en juin 1978 sur toute la surface des placettes à l'aide d'épandeurs portatifs de marque *Cyclone*.

- Mesurage et échantillonnage des dispositifs

Lors de l'établissement des dispositifs expérimentaux, un échantillonnage du sol a été réalisé dans chacune des plantations. De plus, des échantillonnages foliaires ont été effectués dans chaque placette (trois échantillons par placette) en septembre de 1977 (une saison de croissance avant la fertilisation) et en 1978, 1980 et 1982. Tous les échantillons ont été préparés et analysés selon les méthodes courantes du laboratoire (Walsh, 1971). Pour chaque placette, on a déterminé la longueur moyenne de 25 aiguilles et la masse sèche totale de 200 aiguilles.

La hauteur et le diamètre (à 1,35 m de hauteur) des arbres du centre de chacune des placettes (9 arbres dans le dispositif de Saint-Basile et 6 dans celui de Sainte-Sophie) ont été mesurés en juin 1977 puis en septembre de 1977, 1978, 1980 et 1982. Lors de ces mesurages, on a noté la présence de défauts (tiges courbées ou fourchues) ou de blessures sur les tiges, causées par la neige, le verglas, les maladies, les insectes, les animaux, etc.

Les données mesurées ont été compilées mécaniquement et des analyses de variance pour des dispositifs à blocs complets ont été effectués pour chacun des dispositifs.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Résultats des analyses du sol

Bien que ces résultats ne soient pas présentés dans ce rapport, signalons que lors de l'établissement des dispositifs (en 1977), les teneurs en N, P, K, Mg (et Ca, plantation Sainte-Sophie seulement) étaient inférieures aux seuils de fertilité recommandés pour le pin rouge (Wilde, 1968). Toutefois, le niveau de fertilité du sol de la plantation de Saint-Basile était meilleur que celui de Sainte-Sophie. Ainsi, en moyenne, les teneurs en N, K, Mg et Ca des échantillons de sol de Saint-Basile sont plus élevées que celles de Sainte-Sophie de même que le pH et la teneur en matière organique. La texture du sol diffère aussi; à Sainte-Sophie il s'agit d'un sable alors qu'à Saint-Basile, la texture varie du sable loameux au loam sableux.

Ces résultats nous laissent croire que même si elles ne sont pas optimales, les conditions de sol de la plantation de Saint-Basile sont plus favorables à la croissance des arbres que celles qui prévalent dans la plantation de Sainte-Sophie.

- Résultats des analyses chimiques des aiguilles

Les résultats présentés aux tableaux 3 et 4 montrent qu'il existe beaucoup de variations dans les concentrations en éléments des aiguilles selon les traitements et selon les années. Il existe aussi des variations dans les concentrations en éléments entre les deux plantations étudiées.

Les résultats de ces analyses montrent que les concentrations en N sont inférieures au seuil proposé pour le pin rouge (déficience modérée). Les concentrations en P des aiguilles prélevées dans la plantation de Saint-Basile correspondent au palier de déficience-suffisance alors que celles qui proviennent de la plantation de Sainte-Sophie correspondent au palier de suffisance (Swan, 1972). Les concentrations en K et en Mg des aiguilles dans les deux plantations correspondent au palier de déficience-suffisance. Les concentrations en Ca sont suffisantes; elles sont cependant à un niveau plus élevé dans les aiguilles de la plantation de Sainte-Sophie.

Ces résultats confirment que le niveau de fertilité des sols qui supportent ces plantations est faible et que même si la fertilisation a permis d'améliorer légèrement les teneurs en N, P et K des aiguilles, ces teneurs sont encore sous les standards de fertilité proposés pour le pin rouge.

La fertilisation a quand même eu des effets sur les teneurs en éléments des aiguilles. Ainsi, on remarque au tableau 3 que les concentrations en N des aiguilles (Saint-Basile) augmentent avec les quantités d'azote appliqués mais que les applications de P et ou de K en plus de l'azote produisent des effets souvent moindres que ceux de l'azote seul.

Le type d'engrais utilisé cause aussi des variations dans les concentrations en N des aiguilles. Ainsi, le nitrate d'ammonium semble stimuler davantage la concentration en N des aiguilles que l'urée (tableau 3; traitements 2 et 10).

En moyenne, les concentrations en N des aiguilles échantillonnées en 1978 sur les arbres fertilisés sont supérieures à celles des arbres non traités mais ces différences s'atténuent rapidement par la suite.

De la même façon, les aiguilles provenant des arbres fertilisés en P présentent des concentrations en P plus élevées que celles des arbres témoins et cet effet semble plus durable que celui de l'azote (traitement 1 *vs* 6 et 7, Saint-Basile). C'est aussi le cas du K (traitement 1 *vs* 8, 11 et 12, Saint-Basile) où les différences entre les aiguilles provenant des arbres traités et celles des témoins sont encore perceptibles après cinq ans.

Pour ce qui est du K, l'utilisation du sulfate de potassium et de magnésium semble plus avantageux que celle du chlorure de potassium car, dans la majorité de cas, les concentrations en Mg des aiguilles ont augmenté avec l'application de cet engrais (traitement 1 *vs* 11, 12, 13, 15 et 16, Saint-Basile).

Les résultats présentés au tableau 4 pour la plantation de Sainte-Sophie correspondent assez bien à ceux de la plantation de Saint-Basile (tableau 3). Ainsi, les concentrations en N, P et K des aiguilles augmentent avec les quantités d'azote, de phosphore et de potassium appliquées (traitements 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9, 10, 11; Sainte-Sophie).

Comme dans le premier cas, les effets de l'azote sur les concentrations en éléments des aiguilles sont plus marqués que ceux du P et du K mais moins durables. Dans le cas du P et du K, le taux d'application de 75 kg/ha d'éléments semble optimum pour ces plantations. En ce qui concerne l'azote, ce taux serait plutôt de l'ordre de 100 kg/ha.

- Mesures de longueur et de masse des aiguilles

Les résultats présentés au tableau 5 pour les deux plantations montrent que les aiguilles de 1978 provenant des arbres fertilisés sont en moyenne plus longues et plus lourdes que celles des arbres témoins. Ces différences s'estompent toutefois rapidement par la suite, particulièrement dans le cas de la plantation de Sainte-Sophie où dès 1980, il n'y a plus de différences entre les mesures des aiguilles témoins et celles des aiguilles fertilisées.

En ce qui concerne la longueur moyenne des aiguilles de 1978, les meilleurs résultats ont été obtenus avec les traitements 15, 5, 14 et 16 (Saint-Basile) et 17, 24 et 20 (Sainte-Sophie). Pour ce qui est de la masse moyenne de 200 aiguilles de 1978, ce sont les traitements 16, 15, 5, 7 (Saint-Basile) et 17, 21, 14 et 24 (Sainte-Sophie) qui présentent les meilleurs résultats.

Ces traitements comportent des quantités d'éléments de l'ordre de 75 à 100 kg/ha d'azote, de 0 à 100 kg/ha de phosphore et de 50 à 100 kg/ha de potassium.

Ces résultats complètent ceux des analyses foliaires et montrent que c'est principalement l'azote qui cause les augmentations de la longueur et de la masse des aiguilles.

- Mesures dendrométriques de 1977 à 1982, volume total par hectare et observations sur l'état de santé des arbres

Ces résultats sont présentés aux tableaux 6 et 7 et montrent que la fertilisation a stimulé la hauteur, le diamètre et les croissances en hauteur et en diamètre des arbres. En moyenne, toutefois, ces augmentations sont trop faibles et il existe trop de variations entre les résultats pour qu'on puisse observer des différences significatives entre les traitements. Ainsi, dans le cas des accroissements quinquennaux en hauteur, les meilleurs résultats ont été obtenus avec les traitements 4 (100-0-100, Saint-Basile) et 15 (75-50-50, Sainte-Sophie) avec des augmentations supérieures au témoin de l'ordre de 7 et 13 p. 100 respectivement. La fertilisation a eu cependant des effets plus marqués sur le diamètre et l'accroissement en diamètre des arbres. Ainsi les arbres fertilisés selon les traitements 4 (100-0-100, Saint-Basile) et 24 (100-0-50, Sainte-Sophie) présentent après cinq ans des accroissements moyens en diamètre supérieurs de plus de 24 p. 100 à ceux des arbres témoins.

On constate toutefois au tableau 6 qu'il existe beaucoup de variations dans les résultats selon les traitements. Certains ont permis aux arbres de croître davantage que les arbres témoins alors que d'autres (particulièrement dans la plantation de Sainte-Sophie) n'ont pas donné de résultats favorables. On remarque aussi au tableau 7 que dans le cas de la plantation de Sainte-Sophie, il existe beaucoup de variations dans les résultats par répétition; il existe même des différences significatives en ce qui concerne la hauteur et la croissance en hauteur des arbres. Ce résultat s'explique par le fait que les arbres de la répétition C ont été plantés un an plus tôt que ceux des répétitions A et B.

Ces variations entre les traitements et les répétitions sont encore plus marquées lorsqu'on considère le volume total par hectare[1] (tableau 6 et 7). Ainsi, les arbres fertilisés avec les meilleurs traitements présentent après cinq ans un volume total par hectare supérieur à celui des arbres témoins de plus de 46 p. 100 dans le cas de la plantation de Saint-Basile (traitement 3: 100-100-0) et de 22 p. 100 dans le cas de la plantation de

---

[1] Le volume total par hectare a été estimé sommairement de la façon suivante:

$$VT\ (m^3/ha) = \left[\frac{H - 135}{3} + 135 \right] \frac{\pi D^2 \times 2\,500\ \text{tiges/ha}}{1\,000000^*}$$

H: hauteur en cm, D: diamètre en cm

* facteur de conversion.

Sainte-Sophie (traitements 25: 100-0-100 et 14: 100-100-100). En moyenne, pour l'ensemble des traitements, les arbres de la plantation de Saint-Basile présentent un volume total par hectare supérieur à celui des arbres témoins de plus de 20 p. 100 alors que cette augmentation est de l'ordre de 6 p. 100 dans le cas de la plantation de Sainte-Sophie. Les meilleurs traitements de fertilisation comprennent des quantités de 100 kg/ha d'azote sous forme d'urée ou de nitrate d'ammonium avec ou sans l'addition de 50 à 100 kg/ha de P et de K.

Comme on l'a déjà mentionné, il existe beaucoup de variations dans les résultats par traitement, particulièrement dans le cas de la plantation de Sainte-Sophie. D'ailleurs, dans l'ensemble, les résultats de la fertilisation sont nettement plus modestes dans cette plantation. Les résultats concernant l'état de santé des arbres présentés aux tableaux 6 et 7 pour 1982 expliquent partiellement cette situation. On se rappellera en effet que durant l'hiver 1981-1982, il y a eu dans diverses régions du Québec un verglas sévère qui a endommagé les arbres de plusieurs plantations. Dans le cas de la plantation de Sainte-Sophie, les résultats présentés aux tableaux 6 et 7 montrent que le verglas a endommagé plus de 25 p. 100 des arbres. Ces dommages aboutissent la plupart du temps au bris de la pousse terminale; ils varient selon les répétitions et les traitements. Ainsi, ils sont plus faibles dans la répétition A. De plus, la fertilisation semble avoir affecté la résistance des arbres au verglas. Ainsi, les arbres fertilisés avec K seul ou K avec N ou P ont été moins affectés par le verglas que les arbres fertilisés en N seul. Dans le cas de ces derniers (traitements 2, 3, 4 et 5), plus de 50 p. 100 des arbres présentent des dommages causés par le verglas alors que pour les arbres fertilisés avec les traitements 13, 15 et 16, les dommages sont nuls. Ces résultats confirment l'hypothèse souvent énoncée selon laquelle l'azote stimule la croissance des arbres mais accroît aussi les risques de gel et de dommages sur les pousses alors que le potassium améliore la résistance des arbres au gel et à l'hiver (Keller, 1973).

Les arbres de la plantation de Saint-Basile ont été nettement moins affectés par le verglas. En moyenne, seulement 6 p. 100 des arbres présentent des dommages sur la pousse terminale. De plus, on constate aux tableaux 6 et 7 que dans ces deux plantations, le taux de mortalité est négligeable et que la forme des arbres est bonne (peu d'arbres penchés ou fourchus).

Dans l'ensemble et même s'il y a beaucoup de variations selon les traitements et les plantations, les résultats présentés dans ce rapport montrent que la fertilisation est un moyen efficace de stimuler la croissance des plantations de pin rouge.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à souligner la précieuse collaboration de M. Conrad Thomassin, tech.f., responsable de l'équipe qui a établi, fertilisé et mesuré ces dispositifs.

Des remerciements sincères s'adressent particulièrement à MM. Yvon Richard et Mario Ménard, ingénieurs forestiers, pour leur aide judicieuse dans la compilation mécanographique et l'analyse statistique des données, ainsi

qu'au personnel du laboratoire des sols et des tissus qui a procédé à l'analyse des échantillons prélevés pour cette étude.

Je tiens à remercier aussi tous ceux qui ont contribué à la dactylographie, à la correction et à la réalisation de ce rapport.

RÉFÉRENCES

BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec.* Québec, M.E.R., Serv. de la recherche forestière, mémoire n° 79, 392 p.

CHOINIÈRE, L. et L. LAPLANTE, 1948. *Étude des sols du comté de Nicolet. Québec.* Min. de l'Agr., Division des sols, Bull. tech. n° 1, 158 p.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1973. *Possibilités des terres pour la forêt. Carte Trois-Rivières 31 L.* Min. Environ. Can., n° de catalogue En 64/3-31 1.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1977. *Possibilités des terres pour la forêt. Cartes Québec 21 L, K.* Min. Environ. Can., n° de catalogue En 64/3-21L, K.

FERLAND, M.G. et R.M. GAGNON, 1967. *Climat du Québec méridional.* Québec, Min. Rich. Nat., Serv. de météorologie, 93 p.

KELLER, Th., 1973. *Effets de la fertilisation sur le métabolisme des arbres forestiers. In* Colloque international sur l'utilisation des engrais en forêt. FAO-IUFRO, Min. de l'Agr., paris, p. 57-70.

RAYMOND, R., G. LAFLAMME et G. GODBOUT, 1976. *Pédologie du comté de Portneuf.* Québec, Min. de l'Agr., Serv. des sols, Bull. Tech. n° 18, 164 p.

ROWE, J.S., 1972. *Les régions forestières du Canada.* Min. Env., Serv. Can. For., Publ. 1300F, 172 p.

SWAN, H.S.D., 1972. *Foliar nutrient concentrations in red pine as indicators of tree nutrient status and fertilizer requirement.* P.P.R.I.C., Woodlands Rep. 41, 19 p.

WALSH, L.M., 1971. *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue.* Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin, U.S.A., 222 p.

WILDE, S.A., 1978. *Forest soils, their properties and relation to silviculture.* Ronald Press, N.Y., 537 p.

Tableau 1

Localisation et description des conditions de sol et de climat de deux plantations de pin rouge

Localisation Latitude nord Longitude ouest	Saint-Basile de Portneuf 46°47'30'' 71°52'15''	Sainte-Sophie de Lévrard 46°24'10'' 72°07'45''
Âge Hauteur (initiale) Diamètre (initial) Qualité de station[1] Type de sol[2,3] Texture Dépôt Drainage	17 ans 5,19 m 9,82 cm 3 m à 15 ans podzol humo-ferrique gleyifié sable loameux fin-loam sableux fin finimarins imparfait	10 ans 3,95 m 6,71 cm 5 m à 15 ans podzol humo-ferrique sable siliceux sable capricieux à bon
Température[4] (annuelle moyenne)	4,0°C	5,3 °C
Nombre de jours sans gel	109	114
Précipitations	118 cm	100 cm

1 Tirée de Bolghari et Bertrand (1984).
2 Tirée de Raymond, Laflamme et Godbout (1976).
3 Tirée de Choinière et Laplante (1948).
4 Tirée de Ferland et Gagnon (1967).

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie
et des Ressources (secteur Forêts)
Direction de la recherche
et du développement

Tous droits réservés

Tableau 2

Traitements de fertilisation

Plantation	Trait. n°	Quantité d'éléments N	P	K	Quantité d'engrais par placette (kg)		
Saint-Basile	1	Témoin			0	0	0
	2	100	0	0	2,22 U[1]	0	0
	3	100	100	0	2,22 U	5,08 tsp[2]	0
	4	100	0	100	2,22 U	0	2 KCl[3]
	5	100	100	100	2,22 U	5,08 tsp	2 KCl
	6	0	50	0	0	2,54 tsp	0
	7	0	100	0	0	5,08 tsp	0
	8	0	0	100	0	0	2 KCl
	9	50	0	0	1,47 Na[4]	0	0
	10	100	0	0	2,94 Na	0	0
	11	0	0	50	0	0	2,73 KSMg[5]
	12	0	0	100	0	0	5,45 KSMg
	13	100	0	50	2,94 Na	0	2,73 KSMg
	14	100	50	0	2,94 Na	2,54 tsp	0
	15	100	50	50	2,94 Na	2,54 tsp	2,73 KSMg
	16	100	100	100	2,94 Na	5,08 tsp	5,45 KSMg
Sainte-Sophie	1	Témoin			U	tsp	KCl
	2	50	0	0	1,11	0	0
	3	75	0	0	1,66	0	0
	4	100	0	0	2,22	0	0
	5	150	0	0	3,33	0	0
	6	0	50	0	0	2,54	0
	7	0	75	0	0	3,81	0
	8	0	100	0	0	5,08	0
	9	0	0	50	0	0	1
	10	0	0	75	0	0	1,5
	11	0	0	100	0	0	2
	12	50	50	50	1,11	2,54	1
	13	75	75	75	1,66	3,81	1,5
	14	100	100	100	2,22	5,08	2
	15	75	50	50	1,66	2,54	1
	16	100	50	50	2,22	2,54	1
	17	100	75	75	2,22	3,81	1,5
	18	75	50	0	1,66	2,54	0
	19	75	75	0	1,66	3,81	0
	20	75	0	50	1,66	0	1
	21	75	0	75	1,66	0	1,5
	22	100	50	0	2,22	2,54	0
	23	100	100	0	2,22	5,08	0
	24	100	0	50	2,22	0	1
	25	100	0	100	2,22	0	2

1 U: urée (45 p. 100 N).
2 tsp: triple superphosphate (45 p. 100 P_2O_5).
3 KCl: chlorure de potassium (60 p. 100 K_2O).
4 Na: nitrate d'ammonium (33,5 p. 100 N).
5 KSMg: sulfate de potassium et de magnésium (22 p. 100 K_2O, 11 p. 100 Mg).

Tableau 3

Concentrations en N, P, K, Mg et Ca des aiguilles de 1977[1], 1978, 1980 et 1982, plantation de Saint-Basile

Traitements (kg/ha)				Concentrations en éléments (p.100)[2]															
				N			P			K			Mg			Ca		
N°	N	P	K	1978	1980	1982	1978	1980	1982	1978	1980	1982	1978	1980	1982	1978	1980	1982
1	Témoin			1,07	1,22	1,10	0,12	0,13	0,12	0,40	0,35	0,34	0,05	0,06	0,07	0,10	0,11	0,18
2	100 U[4]	0	0	1,28	1,12	1,04	0,11	0,12	0,13	0,44	0,46	0,43	0,04	0,07	0,06	0,09	0,15	0,18
3	100 U	100 tsp[5]	0	1,00	1,17	1,08	0,10	0,12	0,15	0,36	0,40	0,38	0,07	0,07	0,06	0,07	0,10	0,17
4	100 U	0	100 KCl[6]	0,97	1,24	0,95	0,09	0,15	0,13	0,43	0,55	0,43	0,06	0,07	0,06	0,07	0,14	0,18
5	100 U	100 tsp	100 KCl	1,47	1,33	1,01	0,10	0,14	0,14	0,45	0,36	0,41	0,05	0,06	0,06	0,09	0,14	0,19
6	0	50 tsp	0	1,15	1,29	1,08	0,14	0,14	0,13	0,49	0,42	0,40	0,07	0,08	0,06	0,06	0,18	0,20
7	0	100 tsp	0	1,15	1,16	0,99	0,13	0,16	0,14	0,38	0,48	0,36	0,05	0,08	0,06	0,11	0,16	0,18
8	0	0	100 KCl	1,12	1,31	1,12	0,10	0,13	0,14	0,49	0,53	0,49	0,10	0,05	0,06	0,13	0,15	0,18
9	50 Na[7]	0	0	1,23	1,21	1,15	0,12	0,12	0,11	0,49	0,43	0,37	0,06	0,07	0,06	0,06	0,12	0,18
10	100 Na	0	0	1,43	1,09	1,03	0,09	0,11	0,11	0,41	0,38	0,42	0,06	0,07	0,06	0,06	0,16	0,21
11	0	0	50 KSMg[8]	0,98	1,16	0,98	0,10	0,14	0,12	0,44	0,33	0,41	0,08	0,06	0,07	0,12	0,11	0,17
12	0	0	100 KSMg	1,08	1,15	1,04	0,12	0,16	0,12	0,51	0,46	0,46	0,08	0,09	0,09	0,09	0,13	0,20
13	100 Na	0	50 KSMg	1,49	1,35	1,11	0,10	0,11	0,12	0,46	0,57	0,39	0,11	0,06	0,09	0,15	0,08	0,18
14	100 Na	50 tsp	0	1,28	1,22	1,05	0,12	0,15	0,14	0,33	0,53	0,35	0,07	0,07	0,06	0,07	0,14	0,16
15	100 Na	50 tsp	50 KSMg	1,25	1,24	1,05	0,10	0,14	0,13	0,46	0,48	0,42	0,05	0,08	0,07	0,10	0,15	0,16
16	100 Na	100 tsp	100 KSMg	1,22	1,39	1,05	0,11	0,17	0,14	0,58	0,57	0,48	0,06	0,09	0,07	0,09	0,17	0,17
Moyenne sans 7				1,21	1,23	1,05	0,11	0,14	0,13	0,45	0,46	0,41	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,18

1 Les concentrations moyennes pour 1977 sont: 1,23 p. 100 N, 0,12 P, 0,38 K, 0,06 Mg, 0,12 Ca en ppm;
2 Les données présentées dans ce tableau sont des moyennes pour 6 échantillons.
3 U: urée 45 p. 100 N.
4 tsp: triple superphosphate (45 p. 100 P_2O_5).
5 KCl: chlorure de potassium (60 p. 100 K_2O).
6 Na: nitrate d'ammonium (33,5 p. 100 N).
7 KSMg: sulfate de potassium et de magnésium (22 p. 100 K_2O, 11 p. 100 Mg).

Tableau 4

Concentrations en N, P, K, Mg et Ca des aiguilles de 1977[1], 1978, 1979, 1980 et 1982, plantation de Sainte-Sophie

Traitements (kg/ha)				Concentrations en éléments (p.100)[1]																			
				N[2]				P				K				Mg				Ca			
N°	N	P	K	1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982
1		Témoin		1,25	1,17	1,07	1,14	0,14	0,18	0,14	0,16	0,51	0,42	0,32	0,33	0,04	0,05	0,05	0,06	0,22	0,19	0,18	0,23
2	50	0	0	1,38	1,13	1,08	1,06	0,14	0,19	0,13	0,16	0,40	0,35	0,34	0,35	0,05	0,06	0,04	0,05	0,18	0,22	0,17	0,22
3	75	0	0	1,24	1,06	1,24	1,20	0,12	0,17	0,15	0,17	0,38	0,33	0,26	0,30	0,06	0,06	0,04	0,06	0,24	0,23	0,16	0,24
4	100	0	0	1,41	1,14	1,10	1,10	0,12	0,17	0,15	0,15	0,41	0,31	0,30	0,31	0,05	0,05	0,05	0,05	0,19	0,26	0,14	0,26
5	150	0	0	1,70	1,24	1,06	1,19	0,12	0,16	0,15	0,16	0,40	0,34	0,30	0,33	0,05	0,06	0,05	0,06	0,19	0,19	0,20	0,24
6	0	50	0	1,12	1,24	1,21	1,12	0,14	0,19	0,15	0,17	0,47	0,33	0,33	0,35	0,06	0,05	0,05	0,06	0,18	0,19	0,20	0,21
7	0	75	0	1,28	1,14	1,01	1,07	0,15	0,18	0,15	0,18	0,55	0,44	0,34	0,33	0,06	0,05	0,05	0,06	0,22	0,21	0,18	0,29
8	0	100	0	1,15	1,12	1,02	1,11	0,15	0,18	0,16	0,18	0,45	0,37	0,36	0,34	0,06	0,05	0,05	0,07	0,23	0,21	0,18	0,29
9	0	0	50	1,16	1,25	1,09	1,15	0,13	0,17	0,13	0,17	0,55	0,44	0,44	0,46	0,07	0,05	0,04	0,05	0,19	0,19	0,17	0,25
10	0	0	75	1,20	1,04	1,26	1,10	0,14	0,15	0,13	0,16	0,65	0,50	0,48	0,49	0,06	0,05	0,05	0,05	0,24	0,19	0,18	0,25
11	0	0	100	1,14	1,13	1,19	1,14	0,14	0,17	0,15	0,16	0,53	0,43	0,38	0,45	0,06	0,05	0,05	0,05	0,18	0,18	0,18	0,23
12	50	50	50	1,26	1,16	1,04	1,06	0,13	0,17	0,15	0,16	0,59	0,55	0,44	0,46	0,06	0,05	0,05	0,06	0,18	0,17	0,19	0,26
13	75	75	75	1,25	1,08	1,10	1,05	0,14	0,16	0,15	0,16	0,50	0,47	0,42	0,52	0,07	0,06	0,05	0,05	0,24	0,21	0,18	0,25
14	100	100	100	1,45	1,25	1,09	1,07	0,12	0,18	0,13	0,16	0,55	0,47	0,45	0,46	0,07	0,05	0,04	0,05	0,23	0,20	0,17	0,24
15	75	50	50	1,22	1,08	1,25	1,02	0,14	0,16	0,16	0,16	0,53	0,49	0,45	0,42	0,06	0,05	0,05	0,06	0,20	0,23	0,22	0,26
16	100	50	50	1,39	0,98	0,95	1,15	0,12	0,15	0,12	0,16	0,48	0,49	0,41	0,47	0,05	0,06	0,05	0,05	0,21	0,22	0,17	0,23
17	100	75	75	1,48	1,21	1,27	0,98	0,12	0,17	0,17	0,15	0,50	0,49	0,44	0,41	0,05	0,06	0,05	0,06	0,18	0,19	0,20	0,26
18	75	50	0	1,37	1,20	1,09	1,10	1,13	0,18	0,14	0,17	0,41	0,34	0,27	0,34	0,05	0,05	0,05	0,06	0,17	0,18	0,15	0,25
19	75	75	0	1,22	1,06	1,04	1,11	0,13	0,17	0,14	0,18	0,43	0,32	0,35	0,32	0,05	0,05	0,05	0,6	0,17	0,25	0,17	0,28
20	75	0	50	1,29	1,21	1,06	1,10	0,11	0,16	0,12	0,15	0,49	0,47	0,43	0,46	0,07	0,05	0,05	0,05	0,20	0,21	0,17	0,26
21	75	0	75	1,36	1,09	1,07	1,09	0,12	0,15	0,14	0,14	0,51	0,46	0,48	0,43	0,05	0,05	0,05	0,05	0,16	0,17	0,18	0,21
22	100	50	0	1,21	1,07	1,08	1,14	0,12	0,16	0,14	0,16	0,40	0,32	0,31	0,33	0,06	0,06	0,05	0,06	0,19	0,21	0,18	0,25
23	100	100	0	1,24	1,10	1,10	1,17	0,12	0,17	0,14	0,18	0,35	0,32	0,29	0,33	0,05	0,06	0,05	0,06	0,19	0,22	0,21	0,26
24	100	0	50	1,45	1,22	0,94	1,07	0,12	0,16	0,12	0,15	0,51	0,47	0,46	0,41	0,05	0,05	0,04	0,05	0,17	0,19	0,18	0,21
25	100	0	100	1,57	1,18	1,19	1,09	0,11	0,16	0,14	0,15	0,61	0,57	0,48	0,55	0,04	0,05	0,04	0,04	0,28	0,17	0,18	0,25
Moyenne sans T				1,31	1,14	1,10	1,10	0,13	0,17	0,14	0,16	0,48	0,42	0,38	0,40	0,06	0,05	0,05	0,05	0,19	0,20	0,18	0,25

[1] Les concentrations moyennes pour 1977 sont: 1,21 p. 100 N, 0,14 P, 0,32 K, 0,06 Mg et 0,22 Ca en ppm.
[2] Les données présentées dans ce tableau sont des moyennes pour 9 échantillons.
(Les engrais utilisés sont l'urée (45 p. 100 N), le triple superphosphate (45 p. 100 P_2O_5) et le chlorure de potassium (60 p. 100 K_2O).

Tableau 5

Mesures de longueur et de masse des aiguilles de 1978, 1980 et 1982, plantations de Saint-Basile et de Sainte-Sophie

Plantation	Traitements (Kg/ha)[1]				Mesures de longueur (mm)[4]			Mesures de masse (g)		
	n°	N	P	K	1978	1980	1982	1978	1980	1982
Saint-Basile	1		Témoin		123	120	122	7,96	7,63	8,46
	2	100	0	0	134	119	123	10,72	8,06	7,92
	3	100	100	0	129	109	124	12,40	7,42	9,90
	4	100	0	100	138	120	123	10,32	8,06	7,78
	5	100	100	100	143	121	120	11,38	8,47	8,07
	6	0	50	0	127	132	121	8,75	9,31	7,98
	7	0	100	0	136	124	122	11,19	7,73	7,17
	8	0	0	100	129	127	123	9,10	8,53	7,68
	9	50 N[2]	0	0	126	116	123	10,69	7,49	7,45
	10	100 Na	0	0	130	131	118	9,94	8,84	7,50
	11	0	0	50 KSMg[3]	132	119	117	10,08	8,21	8,38
	12	0	0	100 KSMG	137	124	112	9,51	8,63	7,27
	13	100 Na	0	50 KSMg	139	115	118	9,93	7,81	7,85
	14	100 Na	50	0	142	132	117	10,75	9,05	7,60
	15	100 Na	50	50 KSMg	149	124	126	13,67	7,49	8,41
	16	100 Na	100	100 KSMg	142	146	126	13,88	10,71	8,53
	Moyenne sans T				135	124	121	10,68	8,34	8,00
Sainte-Sophie	1		Témoin		126	123	95	8,38	7,61	6,14
	2	50	0	0	145	124	85	10,41	7,56	5,30
	3	75	0	0	134	117	96	9,66	6,85	6,22
	4	100	0	0	130	117	88	9,19	6,37	5,59
	5	150	0	0	136	132	97	9,75	8,28	6,92
	6	0	50	0	128	121	102	8,42	7,04	6,76
	7	0	75	0	131	126	99	9,36	7,75	6,32
	8	0	100	0	131	116	90	8,59	6,86	5,53
	9	0	0	50	131	130	87	8,81	8,48	5,34
	10	0	0	75	140	130	95	10,76	8,01	5,97
	11	0	0	100	136	120	94	9,59	7,88	5,80
	12	50	50	50	135	126	91	10,00	8,18	6,08
	13	75	75	75	138	125	104	10,04	7,00	6,37
	14	100	100	100	143	122	91	10,98	7,39	5,71
	15	75	50	50	137	124	92	9,40	7,75	5,71
	16	100	50	50	140	126	88	10,54	8,04	5,94
	17	100	75	75	150	132	86	11,34	8,50	5,43
	18	75	50	0	145	126	95	10,66	7,98	6,32
	19	75	75	0	134	116	97	9,73	6,51	6,33
	20	75	0	50	147	121	102	10,63	7,58	6,30
	21	75	0	75	144	120	94	11,00	7,26	5,90
	22	100	50	0	143	114	91	10,11	6,44	6,46
	23	100	100	0	140	118	94	9,96	6,91	6,60
	24	100	0	50	148	117	89	10,98	7,39	5,73
	25	100	0	100	144	122	103	10,54	7,40	6,96
	Moyenne sans T				138	123	94	9,95	7,48	6,07

[1] À moins d'indications contraires, les engrais utilisés sont l'urée (45 p. 100 N), le triple superphosphate (45 p. 100 P2O5) et le chlorure de potassium (60 p. 100 K2O).

[2] Na: nitrate d'ammonium (33,5 p. 100 N).

[3] KsMg: sulfate de potassium et de magnésium (22 p. 100 K2O et 11 p. 100 Mg).

[4] Longueur et masse moyennes de 50 aiguilles (Saint-Basile) et de 75 aiguilles (Sainte-Sophie) par traitement.

Tableau 6

Mesures[1] de hauteur et de diamètre de 1982, croissance quinquennale en hauteur et résultats des observations sur l'état de santé des plants.
Plantations de Saint-Basile et Sainte-Sophie

	Traitements (kg/ha)				Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Croissance H82-H77 D82-D77		Volume total m^3/ha	État de santé[2] des plants (p. 100)			
	N°	N	P	K			Hauteur	Diamètre		S	M	V	F
SAINT-BASILE	1		Témoin		7,93	12,84	2,87	3,76	114,70	83	-	17	-
	2	100	0	0	8,44	14,86	2,98	4,37	161,00	94	-	-	6
	3	100	100	0	8,44	15,18	2,84	4,26	168,01	83	-	17	-
	4	100	0	100	8,16	14,47	3,06	4,71	148,82	100	-	-	-
	5	100	100	100	7,90	13,17	3,04	4,00	120,33	94	-	-	6
	6	0	50	0	8,36	13,78	2,87	3,29	137,46	89	-	5	6
	7	0	100	0	8,27	13,80	2,92	3,52	136,73	100	-	-	-
	8	0	0	100	8,28	14,08	3,02	4,27	142,47	100	-	-	-
	9	50 Na	0	0	7,92	13,64	2,98	4,07	129,32	89	-	6	5
	10	100 Na	0	0	7,90	12,66	2,80	3,50	111,19	94	-	6	-
	11	0	0	50 KsMg	8,06	13,53	3,05	4,23	128,92	89	-	5	6
	12	0	0	100 KsMg	8,27	13,97	3,03	4,03	140,12	94	-	6	-
	13	100 Na	0	50 KsMg	8,18	14,18	3,04	4,21	143,18	89	-	11	-
	14	100 Na	50	0	7,93	13,42	2,81	3,93	125,30	78	-	17	5
	15	100 Na	50	50 KsMg	8,41	14,42	3,03	4,22	151,20	94	6	-	-
	16	100 Na	100	100 KsMg	8,17	14,41	3,03	4,57	147,73	83	-	17	-
	Moyenne sans T				8,18	13,97	2,97	4,08	137,91	91	-	6	2
SAINTE-SOPHIE	1		Témoin		6,57	11,49	2,70	4,87	80,10	83	-	17	-
	2	50	0	0	6,45	11,27	2,55	5,00	76,06	50	-	50	-
	3	75	0	0	6,20	10,27	2,33	4,60	70,10	50	-	50	-
	4	100	0	0	5,65	10,76	2,26	4,77	63,27	44	-	56	-
	5	150	0	0	6,40	11,57	2,40	5,14	79,73	44	-	56	-
	6	0	50	0	6,63	11,92	2,68	4,91	86,76	89	-	11	-
	7	0	75	0	6,74	10,98	2,69	4,69	74,49	72	-	28	-
	8	0	100	0	6,68	11,33	2,76	4,51	78,81	78	-	22	-
	9	0	0	50	6,40	11,29	2,79	5,42	75,92	89	-	11	-
	10	0	0	75	6,37	12,08	2,86	5,41	86,63	83	-	12	5
	11	0	0	100	6,63	11,96	2,60	5,16	87,35	78	-	22	-
	12	50	50	50	6,47	11,27	2,82	5,24	76,23	83	-	11	6
	13	75	75	75	6,02	11,52	2,68	5,35	75,74	100	-	-	-
	14	100	100	100	6,98	12,42	2,70	5,24	97,73	72	-	28	-
	15	75	50	50	6,42	12,31	3,04	5,29	90,45	100	-	-	-
	16	100	50	50	6,00	12,40	2,97	5,98	87,55	94	6	-	-
	17	100	75	75	6,92	12,08	2,73	5,73	91,88	56	-	44	-
	18	75	50	0	6,40	12,06	2,63	4,69	86,62	61	-	39	-
	19	75	75	0	6,47	11,64	2,71	4,86	81,32	78	-	22	-
	20	75	0	50	6,75	12,06	2,84	5,31	89,96	89	-	11	-
	21	75	0	75	6,14	12,14	2,72	5,14	85,27	72	-	29	-
	22	100	50	0	6,14	11,63	2,63	5,23	78,26	72	-	28	-
	23	100	100	0	5,92	11,98	2,57	4,74	80,97	61	-	39	-
	24	100	0	50	6,28	12,80	2,75	6,02	96,29	89	-	11	-
	25	100	0	100	6,77	12,56	2,72	5,55	97,78	89	-	11	-
	Moyenne sans T				6,41	11,79	2,68	5,17	83,01	75	-	25	-

1 Moyenne pour 18 arbres par traitement.
2 S: arbres sains, M: taux de mortalité, V: endommagés par le verglas,
F: forme: arbre tordu, fourchu.

Tableau 7

Mesures dendrométriques de 1977 à 1982 par répétition, moyennes pour le traitement témoin et pour l'ensemble des traitements de fertilisation, observations sur l'état de santé des plants, plantations de Saint-Basile et Sainte-Sophie

Plantations Hauteur	Répétitions et Traitements	Hauteur (m)				Croissance		Diamètre (cm)	Volume total	État de santé des plants (p. 100)				
		1977	1978	1980	1982	Hauteur	Diamètre	1982	m^3/ha	Sain	Mortalité	Verglas	Forme	Déficient
Saint-Basile	A	5,16	5,80	6,95	8,16	2,98	4,00	13,81	135,56	88	1	7	3	1
	B	5,23	5,89	7,08	8,17	2,94	4,12	13,99	139,24	92	-	7	1	-
	Fertilisés	5,20	5,85	7,02	8,16	2,96	4,06	13,90	137,33	90	-	7	2	1
	Témoin	5,07	5,66	6,73	7,93	2,87	3,76	12,84	114,70	83	-	17	-	-
	Valeur de F Rep. :	0,21	0,31	0,68	0,01	0,68	1,38	0,31	-	-	-	-	-	-
	Trait.:	0,42	0,31	0,40	0,39	0,76	3,66	1,23	-	-	-	-	-	-
Sainte-Sophie	A	3,91	4,49	5,64	6,45	2,56	5,14	11,78	83,10	85	-	15	-	-
	B	3,95	4,51	5,62	6,61	2,69	5,14	11,67	82,98	67	1	31	-	1
	C	4,00	4,62	5,88	6,85	2,88	5,25	12,07	91,06	73	-	26	1	-
	Fertilisés	3,95	4,54	5,71	6,63	2,71	5,15	11,84	85,60	76	-	24	-	-
	Témoin	4,03	4,65	5,82	6,66	2,70	4,87	11,49	80,88	83	-	17	-	-
	Valeur de F Rep. :	0,75	1,64	4,81	6,01	8,61	0,28	0,98	-	-	-	-	-	-
	Trait.:	0,99	0,89	0,85	0,81	1,01	1,37	0,89	-	-	-	-	-	-